

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2004-303086

(43)Date of publication of application : 28.10.2004

(51)Int.Cl.

G05B 13/02  
B63H 25/04

(21)Application number : 2003-097320

(71)Applicant : FUZZY LOGIC SYSTEMS

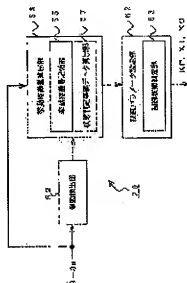
(22)Date of filing : 31.03.2003

(72)Inventor : YAMAKAWA RETSU  
MAENO HITOSHI  
UCHINO EIJI  
MORITA HIROHIKO**(54) CONTROLLER AND CONTROLLING METHOD AS WELL AS CONTROL STATE DETERMINING DEVICE AND METHOD**

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a controller which can perform appropriate control irrespective of an object to be controlled and disturbance even while the object is affected by periodic disturbance or oscillates due to control.

**SOLUTION:** The controller unit which adjusts the quantity of an operation based on a deviation from a target value of the quantity of control and control parameters is characterized by comprising a behavior characteristic quantity calculating part 56 which detects the periods or frequencies of predetermined types of behaviors performed by the object, a state determination basic data calculating part 57 which calculates the quantities of variations of the periods or frequencies, and a control parameter setting part 62 which changes the control parameters based on the quantities of the variations.

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination]

31.03.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

3677274

[Date of registration]

13.05.2005

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

JP 2004-303086 A 2004.10.28

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-303086

(P2004-303086A)

(53) 公開日 平成16年10月28日(2004.10.28)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

G05B 13/02

B63H 25/04

F

G05B 13/02

B63H 25/04

C

D

テーマコード(略号)

5H004

審査請求 有 請求項の数 11 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2003-97320 (P2003-97320)  
(22) 出願日 平成15年3月31日(2003.3.31)(71) 出願人 591081686  
財団法人ファジィシステム研究所  
福岡県北九州市大字川洞字壱ヶ坂680番地  
41  
(74) 代理人 110000154  
特許業務法人はるか国際特許事務所  
(72) 発明者 山川 翔  
福岡県北九州市大字川洞字壱ヶ坂680番地  
41 財団法人ファジィシステム研究所内  
(72) 発明者 前野 仁  
兵庫県高田市芦原町9番52号 吉野電気  
株式会社内  
(72) 発明者 内野 英治  
福岡県北九州市大字川洞字壱ヶ坂680番地  
41 財団法人ファジィシステム研究所内  
最終頁に続く

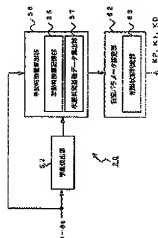
(54) 【発明の名称】 制御装置及び方法、並びに制御状態判定装置及び方法

(57) 【要約】

【課題】制御対象や外乱に依らず、周期的外乱の影響を受けた状態であっても、制御に起因する発振状態であっても、それに応じた制御を行うことができる制御装置を提供すること。

【解決手段】制御装置の目標値からの偏差と、制御パラメータと、に基づいて動作量を調整する制御装置において、前記制御対象により行われる所定種類の挙動の周期又は周波数を検出する挙動特徴量算出部56と、前記周期又は周波数のばらつき量を算出する状態判定基礎データ算出部57と、前記ばらつき量に基づいて前記制御パラメータを変更する制御パラメータ設定部62と、を含むことを特徴とする。

【選択図】 図4



(2)

JP 2004-303085 A 2004.10.28

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

制御量の目標値からの偏差と、制御パラメータと、に基づいて操作量を調整する制御装置において、  
前記制御対象により行われる所定種類の挙動の周期又は周波数を検出する挙動特徴量検出手段と、  
前記周期又は周波数のばらつき量を算出するばらつき量算出手段と、  
前記ばらつき量に基づいて前記制御パラメータを変更する制御パラメータ変更手段と、  
を含むことを特徴とする制御装置。

## 【請求項 2】

請求項 1 に記載の制御装置において、  
前記制御パラメータ変更手段は、前記ばらつき量が所定閾値未満の場合に、制御量の振幅に応じて前記制御パラメータに含まれる比例制御パラメータを減少させることを特徴とする制御装置。

## 【請求項 3】

請求項 1 又は 2 に記載の制御装置において、  
前記制御パラメータ変更手段は、前記ばらつき量が所定閾値以上の場合に、前記偏差の大きさに応じて、前記制御パラメータに含まれる比例制御パラメータを増加させることを特徴とする制御装置。

## 【請求項 4】

請求項 3 に記載の制御装置において、  
前記制御パラメータ変更手段は、前記ばらつき量が前記所定閾値以上の場合に、前記制御パラメータに含まれる微分制御パラメータを減少させることを特徴とする制御装置。

## 【請求項 5】

請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載の制御装置において、  
前記ばらつき量算出手段は、最新の所定回数の前記挙動における、周期又は周波数の標準偏差に基づいて前記ばらつき量を算出することを特徴とする制御装置。

## 【請求項 6】

請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の制御装置において、  
前記制御対象により行われる所定種類の挙動の時間範囲を前記制御量に基づいて順次判断する挙動検出手段をさらに含み、  
前記挙動特徴量検出手段は、前記時間範囲に基づき、前記制御対象により行われる所定種類の挙動の周期又は周波数を検出することを特徴とする制御装置。

## 【請求項 7】

請求項 6 に記載の制御装置において、  
前記挙動検出手段は、前記制御量が種値をとるタイミングを前記所定種類の挙動の時間範囲の始期及び終期と判断することを特徴とする制御装置。

## 【請求項 8】

請求項 1 乃至 7 のいずれかに記載の制御装置において、  
前記制御対象は船舶であり、  
前記制御量はその針路であり、  
前記船舶に備えられた舵機を制御することを特徴とする制御装置。

## 【請求項 9】

制御量の目標値からの偏差と、制御パラメータと、に基づいて操作量を調整する制御方法において、

(3)

JP 2004-303086 A 2004.10.28

前記制御対象により行われる所定種類の挙動の周期又は周波数を検出する挙動特徴量検出ステップと、  
前記周期又は周波数のばらつき量を算出するばらつき量算出ステップと、  
前記ばらつき量に基づいて前記制御パラメータを変更する制御パラメータ変更ステップと、  
を含むことを特徴とする制御方法。

【請求項10】

制御量の目標値からの偏差に基づいて操作量を調整する制御装置に用いる制御状態判定装置であって、  
前記制御対象により行われる所定種類の挙動の周期又は周波数を検出する挙動特徴量検出手段と、  
前記周期又は周波数のばらつき量を算出するばらつき量算出手段と、  
前記ばらつき量に基づいて制御状態を判定する制御状態判定手段と、  
を含むことを特徴とする制御状態判定装置。

【請求項11】

制御量の目標値からの偏差に基づいて操作量を調整する制御装置に用いる制御状態判定方法であって、  
前記制御対象により行われる所定種類の挙動の周期又は周波数を検出する挙動特徴量検出ステップと、  
前記周期又は周波数のばらつき量を算出するばらつき量算出ステップと、  
前記ばらつき量に基づいて制御状態を判定する制御状態判定ステップと、  
を含むことを特徴とする制御状態判定方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は制御装置及び方法、並びに制御状態判定装置及び方法に関し、特に、フィードバック制御における発振状態の検知精度を向上させることができる装置及び方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

フィードバック制御においては、制御量の目標値からの偏差が規則的増減を繰り返す発振状態に陥る場合がある。こうした場合、発振状態を直ちに検知して、制御内容をそれに応じたものに変更することが望ましい。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、制御対象に周期的外乱が与えられ、制御量の目標値からの偏差が同様に規則的増減を繰り返す、フィードバック制御に起因する発振状態との区別が困難となる。例えば、船舶の針路制御においては、フィードバック制御に起因する発振状態と、うねり等の規則的に押し寄せる波の影響を受けた状態と、の区別が困難となる。制御量に現れる規則的増減の振幅が予め設定した閾値を超えるか否かによって、両状態を区別することも考えられるが、予め設定すべき閾値は制御対象や外乱の程度によって大きく異なるため、この方法では制御装置の設計負担が過大となる。

【0004】

本発明は上記課題に鑑みてなされたものであって、その目的は、制御対象や外乱に依らず、周期的外乱の影響を受けた状態であっても、制御に起因する発振状態であっても、それに応じた制御を行うことができる制御装置及び方法を提供することにある。

【0005】

また、他の目的は、制御対象や外乱に依らず、周期的外乱の影響を受けた状態と制御に起因する発振状態とを好適に判別することができる制御状態判定装置及び方法を提供することにある。

【0006】

59

(4)

JP 2004-303086 A 2004.10.28

## 【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するために、本発明に係る制御装置は、制御量の目標値からの偏差と、制御パラメータと、に基づいて操作量を調整する制御装置において、前記制御対象により行われる所定種類の挙動の周期又は周波数を検出する挙動特徴量検出手段と、前記周期又は周波数のばらつき量を算出するばらつき量算出手段と、前記ばらつき量に基づいて前記制御パラメータを変更する制御パラメータ変更手段と、を含むことを特徴とする。

【0007】

また、本発明に係る制御方法は、制御量の目標値からの偏差と、制御パラメータと、に基づいて操作量を調整する制御方法において、前記制御対象により行われる所定種類の挙動の周期又は周波数を検出する挙動特徴量検出ステップと、前記周期又は周波数のばらつき量を算出するばらつき量算出ステップと、前記ばらつき量に基づいて前記制御パラメータを変更する制御パラメータ変更ステップと、を含むことを特徴とする。

【0008】

周期的外乱により影響を受けた場合の制御量の変化と、発振状態の場合における制御量の変化とを比べると、周期的外乱により影響を受けた場合の方が制御量の周期性が低い。本発明では、制御対象の挙動の周期又は周波数を検出し、そのばらつき量に基づいて制御パラメータを変更するので、周期的外乱により影響を受けた場合や発振状態の場合に、それに応じた制御を行うことができる。

【0009】

本発明の一態様では、前記制御パラメータ変更手段は、前記ばらつき量が所定閾値未満の場合に、制御量の振幅に応じて前記制御パラメータに含まれる比例制御パラメータを減少させる。こうすれば、制御に起因する発振状態を改善することができる。

【0010】

また、本発明の一態様では、前記制御パラメータ変更手段は、前記ばらつき量が所定閾値以上の場合に、前記偏差の大きさに応じて、前記制御パラメータに含まれる比例制御パラメータを増加させる。この態様では、前記ばらつき量が所定閾値以上の場合において、例えばさらに前記偏差が所定値以上の場合のみ比例制御パラメータを増加させたり、前記偏差の大きさに応じた量だけ比例制御パラメータを増加させたりしてよい。こうすれば、外乱の影響を改善することができる。また、この態様では、前記制御パラメータ変更手段は、前記ばらつき量が前記所定閾値以上の場合に、前記制御パラメータに含まれる微分制御パラメータを減少させてもよい。こうすれば、外乱の影響を速やかに改善することができる。

【0011】

また、本発明の一態様では、前記ばらつき量算出手段は、最新の所定回数の前記挙動における周期又は周波数の標準偏差に基づいて前記ばらつき量を算出する。こうすれば、現在の制御状態を好適に制御に反映させることができる。

【0012】

また、本発明の一態様では、前記制御対象により行われる所定種類の挙動の時間範囲を前記制御量に基づいて逐次判断する挙動検出手段をさらに含み、前記挙動特徴量検出手段は、前記時間範囲に基づき、前記制御対象により行われる所定種類の挙動の周期又は周波数を検出する。この態様では、前記挙動検出手段は、前記制御量が極値をとるタイミングを前記所定種類の挙動の時間範囲の始期及び終期と判断してもよい。こうすれば、簡易に制御対象の周期的挙動を検出することができる。

【0013】

また、本発明の一態様では、前記制御対象は船舶であり、前記制御量はその針路であり、前記船舶に備えられた舵機を制御する。こうすれば、好適に船舶の制御を行うことができる。

【0014】

また、本発明に係る制御状態判定装置は、制御量の目標値からの偏差に基づいて操作量を調整する制御装置に用いる制御状態判定装置であって、前記制御対象により行われる所定

(5)

JP 2004-303086 A 2004.10.28

種類の挙動の周期又は周波数を検出する挙動特徴量検出手段と、前記周期のばらつき量を算出するばらつき量算出手段と、前記ばらつき量に基づいて制御状態を判定する制御状態判定手段と、を含むことを特徴とする。

【0015】

また、本発明の制御状態判定方法は、制御量の目標値からの偏差に基づいて操作量を調整する制御装置に用いる制御状態判定方法であって、前記制御対象により行われる所定種類の挙動の周期又は周波数を検出する挙動特徴量検出手段と、前記周期のばらつき量を算出するばらつき量算出手段と、前記ばらつき量に基づいて制御状態を判定する制御状態判定手段と、を含むことを特徴とする。

【0016】

周期的外乱により影響を受けた場合の制御量の変化と、発振状態の場合における制御量の変化とを比べると、周期的外乱により影響を受けた場合の方が制御量の周期性が低い。本発明では、制御対象の挙動の周期又は周波数を検出し、そのばらつき量に基づいて制御状態を判定するので、これら2つの場合を区別して、好適に制御状態を判定することができる。

【0017】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施形態について図面に基づき詳細に説明する。

【0018】

図1は、本発明の一実施形態に係る自動操舵制御装置の構成を示す図である。同図に示すように、この自動操舵制御装置10は、船舶(制御対象)に備えられるものであり、針路設定部12、方位センサ14、舵角センサ15、舵機16、加算器18、24、制御パラメータ決定部20、操舵量決定部22及びデッドバンド処理部26を含んで構成されており、舵機16を自動操作して、船舶の船首方位を制御するようになっている。

【0019】

針路設定部12は、本船舶の進むべき方位 $\theta$  (目標値)を出力する。この方位 $\theta$ は、方位設定つまみにより手動設定されてもよいし、例えば衛星測位システムを含んで構成される公知の船舶機器により演算生成されてもよい。この方位 $\theta$ は、真北を基準とし、そこからのずれ角を右(東)回りに $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ の範囲で表したものである。針路設定部12の出力は負符号を与えられて加算器18に供給されている。

【0020】

方位センサ14は、本船舶の船首が現在向いている方位 $\theta$  (制御量)を所定時間毎に出力する。この船首方位 $\theta$ も、真北を基準とし、そこからのずれ角を右(東)回りに $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ の範囲で表したものであり、加算器18及び制御パラメータ決定部20に供給されている。なお、船首方位 $\theta$ は、例えばローパスフィルタを施してから出力してもよい(加算器18の出力に対してローパスフィルタを施してもよい)。

【0021】

舵機16は、本船舶に備えられた舵を例えば油圧ポンプやシリンダ等により駆動する舵機駆動部と、実舵角を指令舵角に一致させる舵機制御部と、を含んで構成された公知の船舶機器である。舵機16には、舵角センサ15が接続されており、該舵角センサ15から現在の舵角、すなわち実舵角 $\delta r$ が出力されるようになっている。実舵角 $\delta r$ は加算器24及びデッドバンド処理部26に供給されている。また、舵機16は、デッドバンド処理部26から指令舵角 $\delta r + \delta D$ を入力することにより、実舵角を $\delta r$ から $\delta r + \delta D$ に変化させるようになっている。

【0022】

加算器18は、方位センサ14から出力される船首方位 $\theta$ と針路設定部12から出力される基準方位 $\theta$ との偏差を生成し、それを操舵量決定部22に供給している。なお、加算器18から出力される偏差 $\theta - \theta$ は、 $\pm 180^{\circ}$ の範囲に正規化される。

【0023】

操舵量決定部22はPID制御(比例制御+積分制御+微分制御)を行う公知の制御手段

であって、加算器 18 及び制御パラメータ決定部 20 の出力が供給されており、制御パラメータ決定部 20 から供給される制御パラメータ（比例係数（比例制御パラメータ） $K_P$ 、積分係数（積分制御パラメータ） $K_I$  及び微分係数（微分制御パラメータ） $K_D$ ）に基づいて、加算器 18 から供給される方位偏差  $\theta - \theta_r$  から操舵量  $\delta PID$  を算出する。この操舵量決定部 22 はハードウェアのみによって構成されてもよいし、コンピュータと該コンピュータが実行するプログラムによって構成されてもよく、具体的には、図 2 に示すように、操舵量決定部 22 は、積分器 30、微分器 36、係数乗算器 32、34、38、加算器 40 を含んで構成されている。そして、加算器 18 から出力される偏差  $\theta - \theta_r$  に対して、積分器 30 により積分するとともに、積分結果に対して係数乗算器 32 により積分係数  $K_I$  を乗算する。また、並行して係数乗算器 34 により比例係数  $K_P$  を乗算する。さらに、並行して微分器 36 により微分するとともに、微分結果に対して係数乗算器 38 により微分係数  $K_D$  を乗算する。加算器 40 には、それらの演算結果が入力されており、総和を操舵量  $\delta PID$  として出力するようになっている。なお、係数乗算器 32、34、38 には、制御パラメータ決定部 20 から積分係数  $K_I$ 、比例係数  $K_P$ 、微分係数  $K_D$  がそれぞれ供給され、その値が各係数乗算器 32、34、38 に保持されるようになっている。

#### 【0024】

この操舵量  $\delta PID$  は加算器 24 に供給されている。加算器 24 には舵角センサ 15 から出力される実舵角  $\theta_r$  も負符号を与えられて供給されており、操舵量  $\delta PID$  と実舵角  $\theta_r$  との差分が演算されるようになっている。演算結果はデッドバンド処理部 26 に供給されている。

#### 【0025】

デッドバンド処理部 26 は、入力値である操舵量  $\delta PID$  と実舵角  $\theta_r$  との差分の絶対値が所定値  $D$  未満である場合には内部値  $\delta D$  を零とし、それ以上の場合には入力値をそのまま内部値  $\delta D$  とする処理を行う。デッドバンド処理部 26 には舵機 16 から実舵角  $\theta_r$  も入力されている。そして、デッドバンド処理部 26 は、この実舵角  $\theta_r$  と内部値  $\delta D$  との和を出力し、舵機 16 に供給している。こうして、操舵量決定部 22 の出力に対する舵角  $\theta_r + \delta D$  の不感帯を設けるものである。このデッドバンド処理部 26 も、ハードウェアのみによって構成されてもよいし、コンピュータと該コンピュータが実行するプログラムによって構成されてもよい。デッドバンド処理部 26 における入力値と内部値との関係は、図 3 に示される通りである。なお、前記所定値  $D$  の値は制御パラメータ決定部 20 から与えられるようになっている。

#### 【0026】

制御パラメータ決定部 20 は、操舵量決定部 22 において操舵量  $\delta PID$  を決定するために用いる制御パラメータ（比例係数  $K_P$ 、積分係数  $K_I$  及び微分係数  $K_D$ ）を決定する処理を行うものであり、加算器 18 から偏差  $\theta - \theta_r$  が入力されている。制御パラメータ決定部 20 は、このデータに基づいて制御パラメータを決定する。この制御パラメータ決定部 20 も、ハードウェアのみによって構成されてもよいし、コンピュータと該コンピュータが実行するプログラムによって構成されてもよい。

#### 【0027】

具体的には、制御パラメータ決定部 20 は、図 4 に示されるように、挙動検出部 52、挙動特徴量算出部 56 及び制御パラメータ設定部 62 を含んで構成されている。ここで、挙動特徴量算出部 56 は、挙動特徴量記憶部 55 と状態判定基礎データ算出部 57 とを含んでいる。また、制御パラメータ設定部 62 は制御状態判定部 63 を含んでいる。すなわち、この自動操舵制御装置 10 は、制御状態判定装置を含んで構成されている。

#### 【0028】

まず、挙動検出部 52 には、加算器 18 から出力される偏差  $\theta - \theta_r$  が入力されており、船舶の所定挙動（偏差  $\theta - \theta_r$  が極大値をとるタイミングから再び極大値をとるタイミングまでの挙動（水平方向の船首偏、ヨーイング））の時間範囲を順次判断する。

#### 【0029】



(7)

JP 2004-303086 A 2004.10.28

例えば、挙動検出部52に順次入力される偏差 $\theta - \theta_0$ に基づいて、最新の偏差 $\theta - \theta_0$ から直前の偏差 $\theta - \theta_0$ の差分を順次計算し、その値が正から負に変化するタイミングを制御量である船首方位 $\theta$ が極大値をとるタイミングであると判断する。そして、このタイミングを直前の挙動の終了タイミング、且つ次の挙動の開始タイミングと判断する。すなわち、図5に示されるように、加算器18から出力される偏差 $\theta - \theta_0$ は一般には増減を繰り返しており、図中波線で示される、偏差 $\theta - \theta_0$ が極大値をとるタイミング、すなわち船首方位 $\theta$ が極大値をとるタイミングを検出し、それをある挙動の開始タイミング、且つ次の挙動の終了タイミングとして挙動特徴量算出部56に供給するようになっている。なお、挙動検出部52は、その他、船首方位 $\theta$ が極小値をとるタイミングや、船首方位 $\theta$ の二階微分が符号反転するタイミング等に基づいて、挙動の時間範囲の開始タイミングや終了タイミングを決定してもよい。

【0030】

挙動特徴量算出部56には、挙動検出部52から各挙動の開始タイミング及び終了タイミングが順次供給されるとともに、加算器18から偏差 $\theta - \theta_0$ が順次供給されている。挙動特徴量算出部56は記憶手段を備えており、少なくとも1挙動分の偏差 $\theta - \theta_0$ が記憶されるようになっている。そして、各挙動の時間範囲において加算器18から供給された偏差 $\theta - \theta_0$ に基づいて、該挙動の特徴量を算出するようになっている。なお、挙動特徴量算出部56に記憶手段を設けることなく、逐次各種挙動特徴量を算出するようにしてもよい。

【0031】

ここでは、挙動特徴量算出部56は、各挙動の特徴量として、1つの挙動中に取得される偏差 $\theta - \theta_0$ の平均値 $\theta_c$ 、1つの挙動中に取得される偏差 $\theta - \theta_0$ の一階微分 $\omega$ の平均値 $\omega_c$ 、1つの挙動中に取得される偏差 $\theta - \theta_0$ の最大値と最小値との差 $\Delta\theta$ 、1つの挙動中に取得される偏差 $\theta - \theta_0$ の一階微分 $\omega$ の最大値と最小値との差 $\Delta\omega$ 、 $\Delta\theta$ と $\Delta\omega$ の積 $S$ 、挙動周期 $T$ 、すなわち挙動の開始タイミングから終了タイミングまでの経過時間を算出するようにしている。図6は、ある挙動に対応する偏差 $\theta - \theta_0$ を、横軸が偏差 $\theta - \theta_0$ であり、縦軸がその一階微分である $\omega$ である位相面に表したものであり、挙動特徴量算出部56は、図6に示される $\theta_c$ 、 $\omega_c$ 、 $\Delta\theta$ 、 $\Delta\omega$ 及び $S$ を特徴量として算出するとともに、さらに挙動周期 $T$ を算出するようにしている。

【0032】

こうして算出される各特徴量は挙動特徴量記憶部55に記憶されている。挙動特徴量記憶部55は、図7に示されるように、最新の所定回数（例えば5回）の挙動に対する挙動特徴量、特に挙動周期 $T$ 、 $\Delta\theta$ と $\Delta\omega$ の積 $S$ 、及び $\theta_c$ の二乗値を記憶している。挙動判定基礎データ算出部57は、この挙動特徴量記憶部55の記憶内容に基づき、挙動毎に、状態判定基礎データを算出している。状態判定基礎データは、挙動（ヨーイング）面積の平均値 $S\_AVE$ と、挙動面積の最大値 $S\_MAX$ と、挙動中心偏角の二乗平均 $DV\_CNT\_RMS$ と、挙動周期の標準偏差 $T\_SD$ とを含んでいる。これらの状態判定基礎データは制御パラメータ設定部62に供給される。ここで、挙動面積は、上述した $\Delta\theta$ と $\Delta\omega$ の積 $S$ であり、挙動面積の平均値 $S\_AVE$ は、次式（1）に示されるように、挙動特徴量記憶部55に記憶されている、最新の所定回の挙動における挙動面積 $S$ を平均したものである。

【0033】

$$S\_AVE = \sum S_i / 5 \quad \dots (1)$$

【0034】

ここで、 $\sum S_i$ は1から5に1ずつ変化させた総和である（以下、同様）。次に、挙動面積の最大値 $S\_MAX$ は、次式（2）に示されるように、挙動特徴量記憶部55に記憶されている、最新の所定回の挙動における挙動面積 $S$ のうち最大値である。

【0035】

【数2】

20

30

40

50

(8)

JP 2004-303086 A 2004.10.28

$$S\_MAX = MAX(S1, S2, S3, S4, S5) \quad \dots (2)$$

【0036】

挙動中心偏角の二乗平均 $DV\_CNT\_RMS$ は、次式(3)に示されるように、最新の所定回の挙動における偏差 $\theta - \theta_c$ の平均値 $\theta_c$ を二乗し、それを平均化して平方根をとったものである。

【0037】

【数3】

$$DV\_CNT\_RMS$$

【0038】

$$= \sqrt{SQR(T) \sum \theta c i^2 / 5} \quad \dots (3) \quad 10$$

【0039】

ここで、 $SQR$ は平方根を表す。挙動周期の標準偏差 $T\_SD$ は、次式(4)に示されるように、最新の所定回の挙動における挙動周期 $T$ の標準偏差である。なお、挙動の大きさに応じて適宜正規化してもよい。

【0040】

【数4】

$$T\_SD = \sqrt{\sum (Ti - Tave)^2 / 5} \quad \dots (4)$$

【0041】

ここで、 $Tave = \sum Ti / 5$ であり、最新の所定回の挙動における挙動周期 $T$ の平均値である。 20

【0042】

制御パラメータ設定部62は、上述のように制御状態判定部63を含んでおり、現在の制御状態を判定するとともに、その判定結果に基づいて制御パラメータを決定し、それを操舵量決定部22に供給する。具体的には、制御状態判定部63は、状態判定基礎データ算出部57により算出され、挙動特徴量算出部56から供給される状態判定基礎データに基づいて、現在の挙動に対して発振指数、外乱指数及びゲイン不足指数を算出するとともに、それらの指数に基づいて現在の制御状態を判定する。そして、制御パラメータ設定部62は、判定結果に応じて制御パラメータを決定し、それを操舵量決定部22に供給する。

【0043】

制御状態判定部63は、図8乃至図10に示されるファジィ推論データを記憶しており、 30  
これらのデータに基づいて指数を算出する。すなわち、挙動面積 $S$ の平均値 $S\_AVE$ を、図8(b)に示されるメンバーシップ関数に照らし合わせ、その値が大、中、小のいずれに属するかを判断する。また、挙動周期 $T$ の標準偏差 $T\_SD$ を、図8(c)に示されるメンバーシップ関数に照らし合わせ、その値が大、中、小のいずれに属するかを判断する。そして、それらの結果を図8(a)に照らし合わせ、発振指数が大、小、無(無し)のいずれに属するかを判断する。すなわち、制御状態判定部63は、挙動面積 $S$ の平均値 $S\_AVE$ と挙動周期 $T$ の標準偏差 $T\_SD$ とに基づいて、現挙動の発振指数が大、小、無のいずれであるかを判断する。ここで、発振指数は、現挙動が制御に起因する発振状態である程度を表す。

【0044】

同様に、制御状態判定部63は、挙動面積 $S$ の最大値 $S\_MAX$ を、図9(b)に示されるメンバーシップ関数に照らし合わせ、その値が大、中、小のいずれに属するかを判断する。また、挙動周期 $T$ の標準偏差 $T\_SD$ を、図9(c)に示されるメンバーシップ関数に照らし合わせ、その値が大、中、小のいずれに属するかを判断する。そして、それらの結果を図9(a)に照らし合わせ、外乱指数が大、小、無(無し)のいずれに属するかを判断する。すなわち、制御状態判定部63は、挙動面積 $S$ の最大値 $S\_MAX$ と挙動周期 $T$ の標準偏差 $T\_SD$ とに基づいて、現挙動の外乱指数が大、小、無のいずれであるかを判断する。ここで、外乱指数は、現挙動が外乱の影響を受けた状態である程度を表す。

【0045】

さらに、制御状態判定部63は、挙動中心偏角の二乗平均 $DV\_CNT\_RMS$ を、図1 50

(9)

JP 2004-303066 A 2004.10.28

0 (b) に示されるメンバーシップ関数に照らし合わせ、その値が大、中、小のいずれに属するかを判断する。そして、その結果を図 10 (a) に照らし合わせ、ゲイン不足指数が大、無(無し)のいずれに属するかを判断する。すなわち、制御状態判定部 63 は、挙動中心偏角の二乗平均  $DV\_CNT\_RMS$  に基づいて、現挙動のゲイン不足指数が大又は無のいずれであるかを判断する。ここで、ゲイン不足指数は、現挙動がゲイン不足の状態では制御された状態である程度を表す。

【0046】

その後、制御パラメータ設定部 62 は、制御状態判定部 63 による判定結果に基づき、制御パラメータを決定する。具体的には、発振指数が大であると判断されれば、蛇行状態(第 1 操船状態)と判断し、予め用意された制御パラメータ (KP, KI, KD) のうち比例制御パラメータ KP を減少させる。必要に応じて他のパラメータを変化させてもよい。減少量は、固定量としてもよいし、発振の程度に応じて、例えば挙動面積 S の平均値  $S_{AVB}$  等に基づいて都度決定してもよい。

【0047】

また、制御パラメータ設定部 62 は、第 1 操船状況でない場合において、ゲイン不足指数が大であり(例えば偏差が大である挙動が連続する等)、外乱指数が大であると判断されれば、嵐状態(第 2 操船状態)と判断し、予め用意された制御パラメータ (KP, KI, KD) のうち比例制御パラメータ KP を増加させるとともに、微分制御パラメータ KD を減少させる。必要に応じて他のパラメータを変化させてもよい。増加量及び減少量は、それぞれ固定量としてもよいし、嵐状態の程度に応じて、例えば偏差の大きさ(挙動面積 S の最大値  $S_{MAX}$  等)に基づいて都度決定してもよい。

【0048】

さらに、制御パラメータ設定部 62 は、第 1 操船状況でなく、第 2 操船状況でもない場合において、ゲイン不足指数が大であると判断されれば、偏差状態(第 3 操船状態)と判断し、予め用意された制御パラメータ (KP, KI, KD) のうち比例制御パラメータ KP を増加させる。必要に応じて他のパラメータを変化させてもよい。その増加量は、固定量としてもよいし、ゲイン不足の程度に応じて、例えば挙動中心偏角の二乗平均  $DV\_CNT\_RMS$  等に基づいて都度決定してもよい。

【0049】

以上のようにして、操船状態に応じて制御パラメータを設定し、安定した操船制御を実現することができる。

【0050】

ここで、本実施形態に係る自動操舵制御装置 10 の動作についてフロー図に基づいて説明する。図 11 は、本実施形態に係る自動操舵制御装置 10 の動作を示すフロー図である。

【0051】

同図に示すように、この自動操舵制御装置 10 では、まず予め用意された制御パラメータ(比例係数 KP、積分係数 KI、及び微分係数 KD)を操舵量決定部 22 に供給し、それにより最初の挙動(ヨーイング)の間、舵機 16 を制御する(S101)。そして、挙動検出部 52 は、偏差  $\theta - \theta_0$  により挙動の終了タイミングを監視する(S102)。そして、挙動検出部 52 が挙動の終了タイミングを検知すると、それを挙動特徴量算出部 56 に通知し、それにより挙動特徴量算出部 56 が挙動の特徴量 ( $\theta c$ ,  $\omega c$ ,  $\Delta \theta$ ,  $\Delta \omega$ , S, T,  $\theta c 2$ ) を算出する(S103)。

【0052】

こうして、算出される特徴量の一部は挙動特徴量記憶部 55 に記憶される。次に、状態判定基礎データ算出部 57 は、挙動特徴量記憶部 55 の記憶内容に基づいて、各状態判定基礎データ ( $S_{AVE}$ ,  $S_{MAX}$ ,  $DV\_CNT\_RMS$ , T-SD) を算出する(S104)。こうして算出される状態判定基礎データは制御パラメータ設定部 62 に供給される。

【0053】

次に、制御パラメータ設定部 62 に設けられた制御状態判定部 63 が、状態判定基礎デー

(10)

JP 2004-303085 A 2004.10.28

タに基づいて、各状態指数（発振指数、外乱指数、ゲイン不足指数）を取得するとともに（S105）、制御状態（第1操船状態、第2操船状態、第3操船状態又はそれ以外）を判定する（S106）。そして、判定結果に基づいて、制御パラメータ設定部62が制御パラメータを決定する（S107）。その後、S101に戻って、S107で決定される制御パラメータを用いて、次の挙動の間、舵機16を制御する。

【0054】

以上説明した自動操舵制御装置10によれば、目標値である基準方位 $\theta$ と制御量である船首方位 $\theta$ との偏差が増減を繰り返す場合に、その増減パターンの周期的規則性（ばらつき量）に基づいて制御状態（操船状態）を判断することができ、その判断結果に応じて制御パラメータを設定することにより、安定的に操船制御を行うことができる。

【0055】

なお、本発明は上記実施形態に限定されるものではない。例えば、制御量の周期的変化の規則性（ばらつき量）を評価するのは、上記のように周期及びその標準偏差を用いる方法に限定されず、周波数を用いてもよい。また、ここでは船舶の操船制御及び制御状態判定に本発明を適用する例を示したが、他の移動体にも本発明を同様に適用することができる。また、移動体制御以外にも本発明を同様に適用することができる。さらに、移動体の進行方向のみならず、姿勢制御や速度制御等にも適用することができ、移動体以外であっても、温度や濃度等の物理量の制御に適用することができる。

【0056】

【発明の効果】

本発明によれば、制御対象により行われる所定種類の挙動の周期又は周波数のばらつき量を算出し、それを制御パラメータの変更や制御状態の判定に用いるようにしたので、周期的外乱により影響を受けた状態と発振状態とを区別して、制御や制御状態の判定を好適に行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施形態に係る自動操舵制御装置の構成を示す図である。

【図2】操舵量決定部の構成を示す図である。

【図3】デッドバンド処理部の処理内容を説明する図である。

【図4】制御パラメータ決定部の構成を示す図である。

【図5】方位差（実方位と目標方位との差）の経時変化を示す図である。

【図6】挙動あたりの方位差とその一階微分の推移を位相面で示す図である。

【図7】挙動特徴量記憶部の記憶内容を示す図である。

【図8】発振指数を推論するためのファジィ推論データを示す図である。

【図9】外乱指数を推論するためのファジィ推論データを示す図である。

【図10】ゲイン不足指数を推論するためのファジィ推論データを示す図である。

【図11】本発明の実施形態に係る自動操舵制御装置の動作を示すフロー図である。

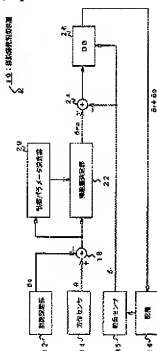
【符号の説明】

10 自動操舵制御装置、12 針路設定部、14 方位センサ、15 舵角センサ、16 舵機、18、24、40 加算器、20 制御パラメータ決定部、22 操舵量決定部、26 デッドバンド処理部、30 積分器、32 積分パラメータ乗算部、34 比例パラメータ乗算部、36 微分器、38 微分パラメータ乗算部、52 挙動検出部、55 挙動特徴量記憶部、56 挙動特徴量算出部、57 状態判定基礎データ算出部、62 制御パラメータ設定部、63 制御状態判定部。

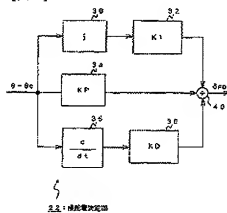
(11)

JP 2004-303086 A 2004.10.28

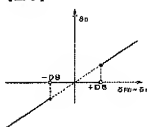
【図 1】



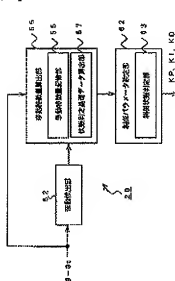
【図 2】



【図 3】



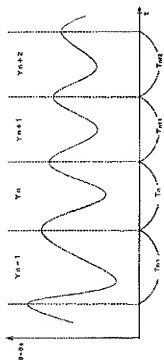
【図 4】



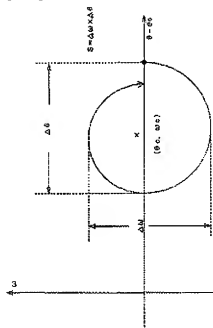
(12)

JP 2004-303086 A 2004.10.28

【図 5】



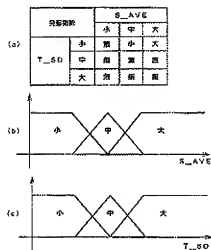
【図 6】



【図 7】

T 1	T 2	T 3	T 4	T 5
S 1	S 2	S 3	S 4	S 5
0.1 <sup>1</sup>	0.2 <sup>1</sup>	0.3 <sup>1</sup>	0.4 <sup>1</sup>	0.5 <sup>1</sup>

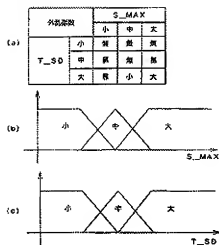
【図 8】



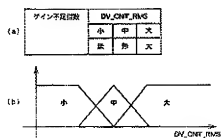
(13)

JP 2004-303086 A 2004.10.28

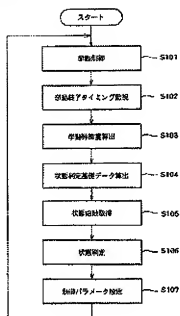
【図 9】



【図 10】



【図 11】



(14)

JP 2004-303085 A 2004.10.28

---

フロントページの続き

(72)発明者 森田 博彦

福岡県飯塚市大字川添字君ヶ坂680番地41 財団法人ファジィシステム研究所内

Fターム(参考) 5H004 GA06 GA07 GB14 HA07 HB07 JA01 JB01 KC47